第38卷 第5期
2021年9月
干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH
Vol. 38 No. 5
Sep. 2021

和田地区沙尘暴时间分布及变化特征

买买提阿布都拉·依米尔[1]，阿依夏木古丽·买买提[1]，沙依然·外力[2]，
陈天宇[1]，布帕提曼·艾拜都拉[1]，阿依夏木·买买提托合提[1]，毛炜峄[3]

（1. 和田地区气象局，新疆 和田 848000；2. 新疆气象局遥感中心，新疆 乌鲁木齐 830011；
3. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所，新疆 乌鲁木齐 830002）

摘 要： 采用4个气象站1961—2018年的沙尘暴监测资料，分析了和田地区沙尘暴频次和持续时间的分布特征和变化趋势，并探讨了沙尘暴长时间变化原因。结果表明：(1) 和田地区年平均沙尘暴日数20.4 d，是我国沙尘暴最多的地区之一。(2) 和田地区在春夏季沙尘暴频次最多，峰值在5月；冬季12月的沙尘暴过程持续时间最长，夏季6月的持续时间最短；持续时间在1~30 min的沙尘暴频率最多。(3) 和田地区24 h都有可能出现沙尘暴，在18:00—23:00出现沙尘暴频次最多，后半夜至上午开始的沙尘暴持续时间最长。(4) 和田地区在16个风向方位都会出现沙尘暴，来自西方路径沙尘暴的风速和频率大(多)于其余路径沙尘暴。(5) 在和田地区，最大风速达3.0 $m \cdot s^{-1}$就可能会引发沙尘暴，有87.5%的沙尘暴发生时极大风速未达到大风标准。(6) 近58 a来，和田地区的年沙尘暴日数显著减少，年大风日数和最大风速也显著减少；沙尘暴频次20世纪60年代最多，从90年代开始明显减少，沙尘暴过程持续时间20世纪70—80年代最长，从21世纪00年代开始明显缩短。

关键词： 沙尘暴频数；持续时间；变化特征；和田地区

沙尘暴是干旱半干旱地区一种典型的灾害性天气，是指强风把地面大量沙尘卷入空中，使空气特别混浊，水平能见度低于1 km的天气现象[1]。在全球范围来讲，共有四大沙尘暴多发区，分别是中亚五国及中国西北部的沙尘暴区，美国中西部的北美沙尘暴区，澳大利亚中西部的澳洲沙尘暴区以及非洲撒哈拉沙漠中的中非和西亚在内的中东沙尘暴区。而它的影响波及全球，比如发生在中亚或中国西部的沙尘暴可以影响到东亚甚至美洲西海岸；发生在非洲撒哈拉沙漠地区的沙尘暴其部分沙尘被风带过大西洋到达南美洲亚马逊地区，甚至有的沙尘被吹到了欧洲，使得全球1/4以上的陆地面积遭到沙尘暴的严重危害[2]。近年来随着经济快速发展和社会进步，沙尘暴所造成的损失不断增加，尤其是对社会经济、人体健康、空气质量等方面造成严重的损失和极大的危害[3]。因此，对沙尘暴的研究具有十分重要的意义。

20世纪20年代，国际上就有对沙尘暴监测、时空分布、成因以及对策方面的研究成果[4]。我国对沙尘暴的研究起步较晚，最早的成果是徐国昌等[5]对1977年4月22日发生在甘肃河西地区的一次特强沙尘暴天气过程的分析。1993年5月5日西北地区发生了一次历史罕见的特强沙尘暴[6]，引起科学界、政府部门和社会公众的关注和高度重视，推动了沙尘暴研究广泛开展。目前，有关沙尘暴的研究内容已经非常丰富，这些研究涉及沙尘暴气候特征[7-8]，沙尘暴与气象因子关系[9-10]，沙尘暴期间要素变化及物理特征[11-12]，沙尘暴气溶胶输送特征[13-14]，沙尘暴数值模拟研究[15-16]，以及卫星遥感技术检测沙尘暴的方法[17-18]等。对于新疆的沙尘暴气候特征，近年来诸多学者也做了大量的研究[19-21]，指出新疆沙尘暴频次基本呈递减变化趋势，南疆沙尘暴日数高

收稿日期： 2020-12-10； **修订日期：** 2021-04-08
基金项目： 新疆维吾尔自治区自然科学基金面上项目(2017D01A08)资助
作者简介： 买买提阿布都拉·依米尔(1979-)，男，维吾尔族，高级工程师，主要从事短时临近天气预报和沙尘暴预报预警指标研究工作. E-mail: htmmt@163.com
通讯作者： 毛炜峄. E-mail: mao6991@vip.sina.com

于北疆的近2倍,南北疆沙尘暴日数都在1987年出现突变,虽然南疆各地绿洲区均处于塔克拉玛干沙漠周围,下垫面同样是沙漠,但由于天气系统、地形走向、植被覆盖情况的不同,使得和田地区的沙尘暴日数高于其他地区。

和田地区位于新疆最南端,地理位置为34°22′~39°38′N、77°31′~84°55′E,全境东西长570~648 km,南北宽420~580 km[22]。地形南高北低,南抵昆仑山与西藏自治区交界,北临塔克拉玛干大沙漠与阿克苏相连,东部与巴音郭楞蒙古自治州相接,西部与喀什地区毗邻,总面积为$24.78×10^4$ km^2,其中山地占33.3%,沙漠戈壁占63%,绿洲仅占3.7%(图1),是全国沙尘暴最为严重的区域之一[7]。刘海涛等[23]研究了和田地区沙尘暴天气的时空分布特征,但存在研究时间序列较短,而且以往的研究很少涉及到持续时间变化、气候突变以及与气象要素之间关系。因此,本文利用和田地区4个气象站1961—2018年58 a逐日沙尘暴监测数据,统计分析了该地区沙尘暴频次和持续时间的分布特征和变化趋势,用累计距平法进一步分析了沙尘暴序列的突变现象,并探讨了沙尘暴长时间变化原因,为全面认识和田地区沙尘暴变化特征,有效提高沙尘暴预报预警和防灾减灾提供科学依据。

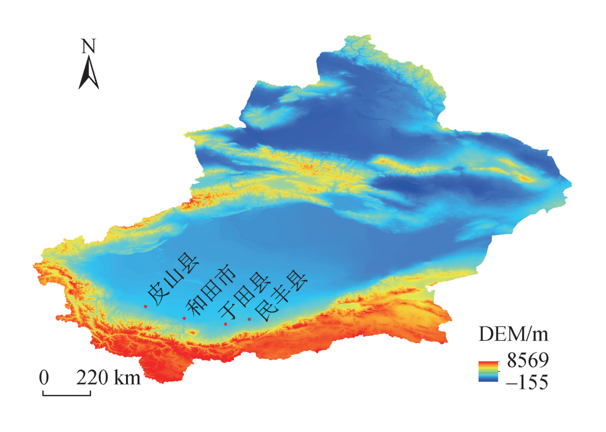


图1　研究区地理位置示意图

Fig. 1　The geographical characteristics of Hotan Prefecture

1　资料与方法

数据资料来自和田地区气象局,所选取的和田市气象站和民丰县气象站属于国家基准站,皮山县气象站和于田县气象站属于国家基本站,以上4站全天24 h记录天气现象及起止时间,数据资料齐全。文中所统计的沙尘暴,依据《地面气象观测规范》,在做日变化统计时,按气象观测规范日界为北京时间20:00,当某1次沙尘暴跨越20:00,按2个出现日计算;若某1日记录2次或以上沙尘暴,按1个出现日计算。沙尘暴开始时间频次是指某整点60 min内的沙尘暴开始时间频次统计为当时整点沙尘暴出现频率(如18:00—18:59开始出现的沙尘暴,统计为18:00的频次),若1次沙尘暴频次从某整点持续到下一整点,只记开始时间整点的频次(如18:05—19:43出现的沙尘暴,开始时间只记18:00沙尘暴频次);沙尘暴持续时间是指某1次沙尘暴开始至结束时间的小时数统计为其持续时间(如18:05—19:43出现沙尘暴,持续时间统计为1 h38 min),将跨越20:00出现的沙尘暴作为1次连续过程处理,若某1次过程记录2次或以上沙尘暴,开始时间和持续时间就分开时段统计。由于各地气象部门从2012年开始停止夜间天气现象的起止时间观测业务,在2012—2018年沙尘暴持续时间只统计从8:00以后开始至20:00以前结束的沙尘暴持续时间。最大风速是1日内最大10 min平均风速,风向为最大10 min平均风速期间出现频次最多的风向。和田地区沙尘暴及相关气候资料是4站总频次的平均。所有数据按全年和季节整理,其中3—5月为春季,6—8月为夏季、9—11月为秋季、12月至次年2月为冬季。

2　沙尘暴气候特征

2.1　沙尘暴频次分布特征

1961—2018年和田地区年平均沙尘暴日数为20.4 d,其中民丰最多,平均每年32.3 d,和田、皮山、于田平均每年分别为20.2 d、17.6 d和11.4 d(表1)。和田地区的沙尘暴日数在1963年最多,达39.8 d,在2012年最少,仅6.8 d。4站中,民丰1985年的沙尘暴日数最多,达62 d,和田2012年的最少,为0 d。民丰年平均沙尘暴达32.3 d,多于全国另一个沙尘暴多发区民勤[24],是我国沙尘暴发生频次最多的区域。

2.1.1　沙尘暴频次月、季分布　和田地区沙尘暴频次月分布呈“单峰型”(图2),多发期在3—8月,各月出现频率均在5%以上;高发期在4—7月,各月出现频率均在10%以上;峰值在5月,出现频率最多,达

表1 和田地区各站沙尘暴年频数

Tab. 1 The sandstorm frequency in Hotan Prefecture

站名	总次数/d	年平均/d	最多天数/出现年	最少天数/出现年
皮山	1022	17.6	48 d/1962年	1 d/2011年
和田	1173	20.2	42 d/1963年	0 d/2012年
于田	664	11.4	28 d/1964年	2 d/2012年
民丰	1871	32.3	62 d/1985年	17 d/2015年
和田地区	1182.5	20.4	39.8 d/1963年	6.8 d/2012年

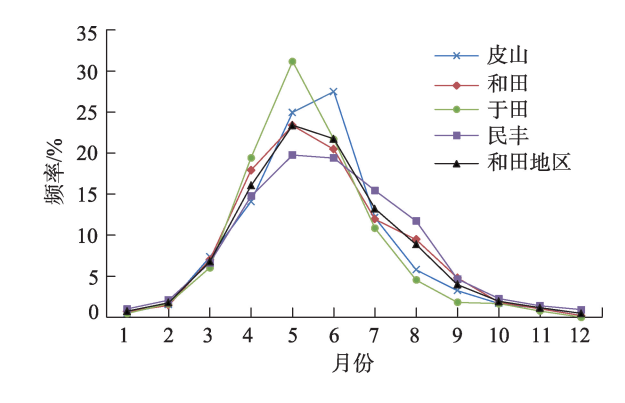


图2 和田地区月沙尘暴频次分布

Fig. 2 Distribution of monthly sandstorm frequency in Hotan Prefecture

到23%；12月和1月沙尘暴出现频率均在1%以下。其中皮山、和田和民丰多发期在3—8月，于田在3—7月；皮山、和田和于田高发期在4—7月，民丰在4—8月；除了于田12月没有出现沙尘暴外，其他站1—12月都有沙尘暴发生。民丰沙尘暴峰值在5月，占全年总频次的19%，峰值的百分率明显低于其余站，但是民丰各月沙尘暴出现频次普遍多于和田其余站点和全疆各绿洲区，在高发期尤其明显[19-21]。

由表2可见，和田地区春夏季沙尘暴频次占全年的90%，冬季平均沙尘暴频次不足1 d。其中除了民丰夏季沙尘暴频次略多于春季，其余站点春季略多于夏季。沙尘暴的这种季节分布特征与冷空气活动次数和强度[25-26]，以及和田地区地形和冷空气路径[27]有关。

表2 和田地区季节沙尘暴频次分布

Tab. 2 Distribution of seasonal sandstorm frequency in Hotan Prefecture /d

站名	春季	夏季	秋季	冬季
皮山	8.2	8.0	1.1	0.4
和田	9.8	8.5	1.5	0.5
于田	6.5	4.2	0.5	0.2
民丰	13.3	15.0	2.7	1.3
和田地区	9.4	8.9	1.4	0.6

春季是南疆地区冷空气活动较为频繁的季节，春末夏初时节塔克拉玛干沙漠增温剧烈，在盆地中易形成热低压，同时，春夏季是农事活动关键时期，地表裸露，土质松软，为沙尘暴的产生提供了条件。这时一旦有较明显的天气系统活动就易产生沙尘暴。因此，和田地区约90%沙尘暴集中在春夏季。

2.1.2 沙尘暴频次日内分布 根据每次沙尘暴发生的具体时段，以h为单位统计开始时间，得出和田地区以及4个气象站近58 a来每小时沙尘暴出现频次。由图3可见，和田地区沙尘暴各时次频次分布呈“三峰型”，主峰出现在18:00—23:00，出现频率占总次数的38.0%，次峰和三峰分别出现在2:00和11:00，出现频次分别占总次数的5.1%和4.6%，在14:00沙尘暴出现频率全天最少，只占总次数的2.2%。民丰沙尘暴主要出现在早晨和傍晚时段，主峰在早晨，其余各站的主峰出现在傍晚。沙尘暴日内高发时段与极端降水量和降水频次的高发时段相同[28]。

2.2 沙尘暴持续时间分布特征

根据每次沙尘暴出现时的起止时间，以30 min（1~30 min、31~60 min、61~90 min、···）为单位统计沙尘暴在各持续时间段内的频次，并计算各时间段

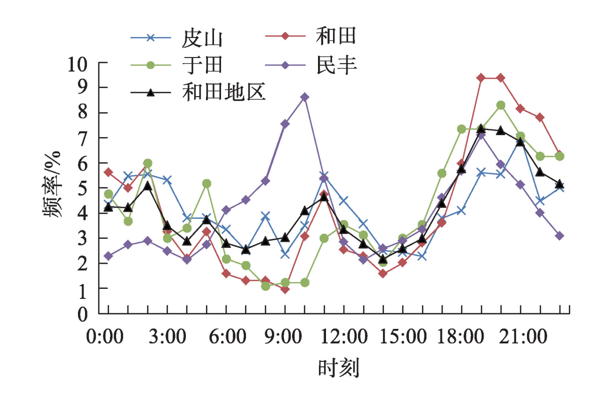


图3 和田地区逐时沙尘暴频次分布

Fig. 3 Distribution of hourly sandstorm frequency in Hotan Prefecture

内频次占总次数的百分率，得到了沙尘暴各个持续时间段内的频率。由图4可见，和田地区沙尘暴持续时间在1~30 min频率最高，达29%，随着持续时间的增加，沙尘暴频率呈逐步递减趋势。其中于田和皮山持续时间在1~30 min的沙尘暴频率分别为40%和38%，持续时间在120 min以上的频率分别为17%和18%，而和田和民丰持续时间在1~30 min的沙尘暴频率分别为21%和16%，持续时间在120 min以上的频率分别为35%和49%。

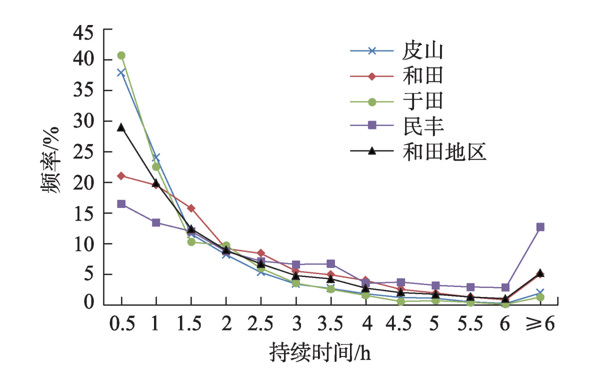


图4　和田地区不同持续时间沙尘暴频率分布

Fig. 4　Distribution of sandstorm frequency with different durations in Hotan Prefecture

2.2.1　沙尘暴持续时间月、季分布　由图5可见，和田地区12月和4月沙尘暴持续时间最长，分别达2 h 28 min和2 h 12 min，6月最短，平均为1 h 35 min。其中民丰12月沙尘暴持续时间最长，平均达3 h 31 min，9月最短，平均为2 h 20 min；和田12月最长，平均达3 h 12 min，6月和11月最短，平均为1 h 32 min；皮山2月最长，平均达1 h 45 min，12月最短，平均为43 min；于田1月最长，平均达1 h 43 min，7月最短，平均为56 min。

由表3可知：和田地区沙尘暴持续时间冬季最长，春季其次，夏季最短。其中皮山、和田和于田冬季最长，夏季最短；民丰春季最长，夏季其次，秋季

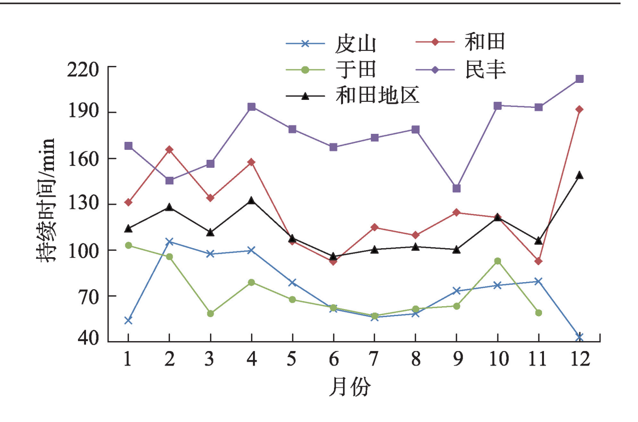


图5　和田地区月沙尘暴持续时间分布

Fig. 5　Distribution of monthly sandstorm durations in Hotan Prefecture

和冬季最短。新疆秋冬季天气形势较为稳定，影响南疆南部地区的冷空气活动次数和强度明显减弱，使得和田地区秋冬季沙尘暴发生概率很小，尤其是冬季大气稳定度非常高，冷空气在盆地堆积，地面风力很弱，不容易发生局地对流性沙尘暴过程，少有的沙尘暴由较强的系统性天气过程引起的，因此冬季沙尘暴持续时间普遍长于其他季节。

2.2.2　沙尘暴持续时间日内分布　由图6可以看出，和田地区24 h均会出现沙尘暴，其中在0:00—12:00开始的沙尘暴持续时间最长，平均时长达2 h 7 min，在13:00—14:00开始的沙尘暴持续时间接近平均时长，在15:00—23:00开始的沙尘暴持续时间小于平均时长。其中7:00开始的沙尘暴持续时间最长（2 h 29 min），16:00开始的最短（1 h 21 min）。从各站持续时间分布来看，于田逐时开始的沙尘暴平均持续时间呈长、短交替，其余站在后半夜至上午开始的沙尘暴平均持续时间长于在午后至前半夜开始的沙尘暴。4站中，民丰在6:00开始的沙尘暴持续时间最长，达4 h 43 min，和田在11:00、皮山在7:00、于田在9:00开始的沙尘暴持续时间最长，平均时长分别为2 h 59 min、2 h 25 min和1 h 48 min；

表3　和田地区季节沙尘暴持续时间分布

Tab. 3　Distribution of seasonal sandstorm durations in Hotan Prefecture

站名	春季	夏季	秋季	冬季
皮山	1 h 28 min	1 h	1 h 15 min	1 h 30 min
和田	2 h 8 min	1 h 43 min	1 h 59 min	2 h 37 min
于田	1 h 11 min	1 h 1 min	1 h 13 min	1 h 38 min
民丰	3 h 1 min	2 h 52 min	2 h 43 min	2 h 44 min
和田地区	1 h 57 min	1 h 39 min	1 h 48 min	2 h 7 min

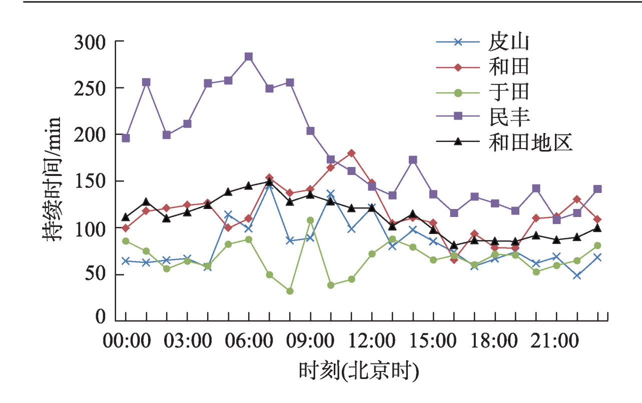


图6 和田地区逐时沙尘暴持续时间分布

Fig. 6 Distribution of hourly sandstorm durations in Hotan Prefecture

民丰在21:00、和田在16:00、皮山在22:00、于田在8:00开始的沙尘暴持续时间最短，平均时长分别为1 h 48 min、1 h 5 min、48 min和32 min。

由于和田地区处于塔克拉玛干沙漠南缘，沙尘源丰富，只要热力和动力条件满足，就能出现沙尘暴，因此，和田各地24 h都可能出现沙尘暴。在午后至傍晚升温快，而且受太阳强烈辐射，近地面气层受热，使得大气热力不稳定条件容易得到满足，出现在春夏季的沙尘暴主要集中在18:00—23:00。在后半夜至上午大气较午后至前半夜相对稳定，局地性沙尘暴频次减少，而且该时段极端降水量和降水频次也少于午后至前半夜，后半夜至上午开始的沙尘暴持续时间相对较长。

2.3 沙尘暴过程最大风速

整理了和田地区4站每次沙尘暴过程中的风向与最大风速，按照16个方位分别统计沙尘暴过程风向频率分布以及最大风速的平均值、最大值和最小值(图7和表4)。和田地区16个风向方位时都会出现沙尘暴，但是，出现沙尘暴时风向频率从高到低为：W、WNW、WSW、NW、SW，合计达到总次数的75.9%，其余风向出现频率较低，仅占0.3%~3.9%。民丰、皮山、和田和于田出现沙尘暴时的最多风向频率分别为WSW(44.9%)、NW(33.2%)、W(37.5%)和W(25.1%)。4站均是在SE风向时出现沙尘暴的频率最少，只占各站总次数的0.2%~0.4%。

和田地区出现沙尘暴时的最大风速平均值为8.1 m·s^{-1}，最大可达17.9 m·s^{-1}，最小为3.4 m·s^{-1}，风向为SW、WSW、W和WNW时风力最大，最大风速平均为8.1~8.3 m·s^{-1}之间；风向为NE、ESE时风力最小，最大风速平均为6.4 m·s^{-1}。4站沙尘暴最强大风

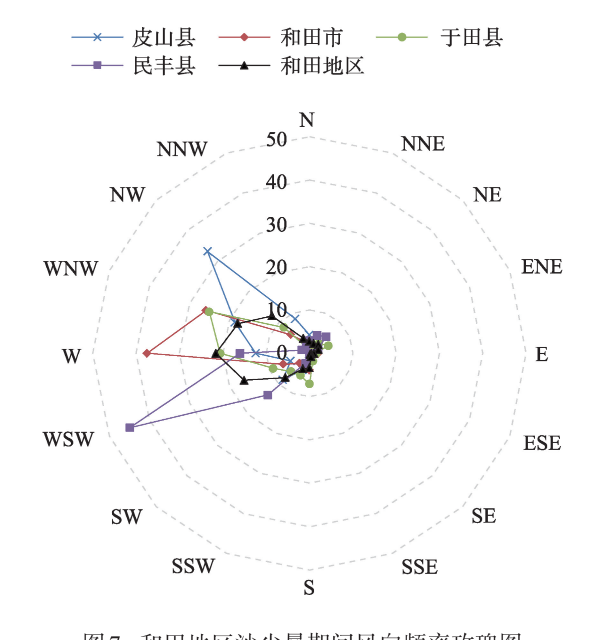


图7 和田地区沙尘暴期间风向频率玫瑰图

Fig. 7 The rose chart of wind direction frequency during sandstorm in Hotan Prefecture

对应的风向及风速为：于田SSE(9.5 m·s^{-1})、和田NW(9.1 m·s^{-1})、民丰SW(9.0 m·s^{-1})、皮山W和NW(8.3 m·s^{-1})；沙尘暴最弱风力对应的风向及风速为：民丰E(6.8 m·s^{-1})、于田N(6.1 m·s^{-1})、和田ESE(5.7 m·s^{-1})、皮山SSE(5.0 m·s^{-1})。

综上所述，和田各地16个风向方位都会出现沙尘暴，最大风速达3.0 m·s^{-1}就可能引发沙尘暴，最大可达20.0 m·s^{-1}，来自西方路径沙尘暴的风速和频率大(多)于其余路径沙尘暴，造成和田地区沙尘暴天气过程的冷空气主要以西方路径为主。

3 沙尘暴气候变化特征

3.1 沙尘暴频次的线性趋势

由图8可知，和田地区年沙尘暴频次呈现递减趋势，其变化倾向率为4.4 d·(10a)$^{-1}$，从5 a滑动曲线来看，1961—1989年大于历年平均(20.4 d)，1990年后减少趋势明显。和田、皮山、于田和民丰4站的年沙尘暴频次同样呈现递减趋势(图略)，变化倾向率分别为6.2 d·(10a)$^{-1}$、5.6 d·(10a)$^{-1}$、2.7 d·(10a)$^{-1}$和2.6 d·(10a)$^{-1}$，均通过0.01信度检验。和田地区沙尘暴的这种变化趋势与全国[8]以及全疆[21]沙尘暴变化趋势一致，而且递减幅度大于全疆平均水平，尤其是和田和皮山沙尘暴递减幅度最为明显，偏高幅度高于南疆的1倍以上，北疆的7倍以上。与全疆[29]和和田地区[30]气温和降水变化相反。王万里等[31-32]研

表4　和田地区沙尘暴期间平均最大风速以及最大、最小风速

Tab. 4　Average wind speed, maximum and minimum wind speed during sandstorm in Hotan Prefecture　/(m·s^{-1})

站名	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	平均	最大	最小
皮山	7.0	6.7	5.9	7.5	6.5	6.0	7.7	5.0	6.4	7.2	8.0	8.2	8.3	7.7	8.3	7.7	7.9	18.4	3.7
和田	6.8	6.9	6.3	6.6	6.5	5.7	7.6	7.3	7.8	7.0	7.7	8.3	8.3	8.0	9.1	8.1	8.0	17.3	3.5
于田	6.1	6.6	6.3	6.5	6.7	6.9	7.5	9.5	7.9	7.0	8.0	7.8	8.5	8.9	8.2	8.2	8.1	16.0	3.3
民丰	7.6	7.5	7.2	7.2	6.8	7.0	7.5	7.2	7.0	8.1	9.0	8.8	8.3	8.5	7.0	8.3	8.4	20.0	3.0
和田地区	6.9	6.9	6.4	6.9	6.6	6.4	7.6	7.2	7.3	7.3	8.2	8.3	8.3	8.3	8.2	8.1	8.1	17.9	3.4

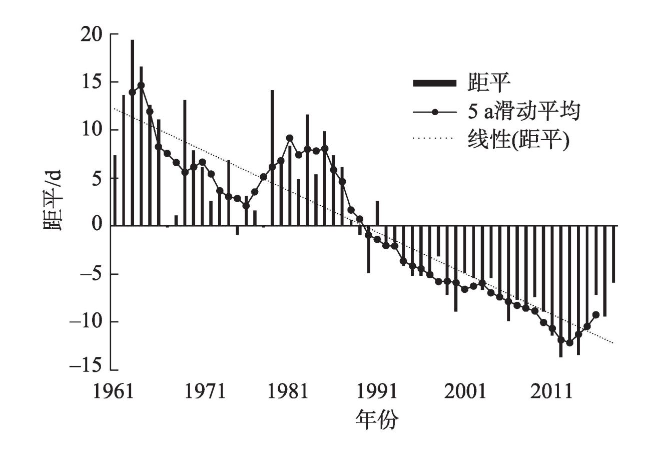


图8　和田地区沙尘暴频次年际变化

Fig. 8　Interannual variation of sandstorm frequency in Hotan Prefecture

究北半球500 hPa高度场变化趋势指出，地球极赤温差减弱导致副高平均位置北移，引起北半球中高纬500 hPa位势高度增加，和田地区沙尘暴频次的递减与大气环流的调整是否有关，在今后还需要进一步的研究。

从表5可知，和田地区各季沙尘暴频次均呈减少趋势，春夏季减少幅度大于秋冬季。和田春、夏季沙尘暴气候倾向率均通过0.01信度检验，皮山分别通过0.01和0.05信度检验。

3.2　沙尘暴频次突变

为了进一步分析年沙尘暴频次时间序列是否存在气候突变，采用信噪比方法[33]来检验不同时段平均值的显著差异(图9)。和田地区年沙尘暴频次累积距平曲线的绝对最大值出现在1988年，从偏多期向偏少期转折，并持续至今，其信噪比R_{sn}=1.6(大于1.0，显著性较明显)，因此，1988年确定为和田地区年平均沙尘暴气候突变年份，与南、北疆沙尘暴气候突变年一致[21]。其中皮山、和田和于田的年沙尘暴频次突变年份分别在1983年、1988年和1993年，民丰变化较为复杂，分别在1966年、1978年和1991年出现转折变化，当前各站沙尘暴频次均处于突变后的偏少周期内。

表5　和田地区季节沙尘暴频次气候倾向率

Tab. 5　Climatic tendency of seasonal sandstorm frequency in Hotan Prefecture　/[d·(10a)$^{-1}$]

站名	春季	夏季	秋季	冬季
皮山	−2.6**	−2.3*	−0.5	−0.2
和田	−2.9**	−2.5**	−0.6	−0.3
于田	−1.6	−1.0	−0.1	−0.1
民丰	−1.3	−0.8	−0.1	−0.4
和田地区	−2.1*	−1.7	−0.3	−0.2

注：*、**分别表示通过0.05和0.01的信度检验。

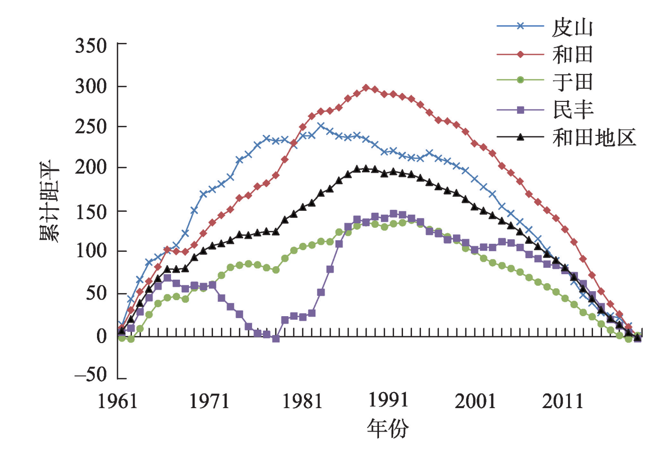


图9　和田地区沙尘暴频次累积距平

Fig. 9　The cumulative anomaly curves of sandstorm frequency in Hotan Prefecture

3.3　沙尘暴频次的年代际变化

由表6可知，和田地区年平均沙尘暴频次20世纪60年代最多，从70年代开始逐渐递减，90年代开始递减到多年平均以下。其中和田、皮山、于田在20世纪60年代最多，民丰20世纪80年代最多；和田、民丰在21世纪10年代最少，皮山、于田在21世纪00年代最少。

沙尘暴持续时间年代际变化来看(表7)，和田

表6　和田地区沙尘暴频次年代际分布

Tab. 6　The decadal distribution of sandstorm frequency in Hotan Prefecture　　/d

站点	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s	2010s
皮山	34.6	23.4	16.8	14.4	7.0	7.5
和田	32.5	31.0	26.0	14.3	10.0	4.4
于田	17.2	15.9	14.2	8.5	5.8	6.0
民丰	38.3	28.8	43.9	28.6	29.8	22.1
和田地区	30.7	24.8	25.2	16.5	13.2	10.0

表7　和田地区沙尘暴持续时间年代际分布

Tab. 7　The decadal distribution of sandstorm durations in Hotan Prefecture

站名	各年代平均持续时间							最长持续时间	
	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s	2010s	平均	时长	日期/年/月/日
皮山	1 h 22 min	1 h 16 min	1 h 21 min	52 min	1 h 5 min	24 min	1 h 15 min	15 h 40 min	1961-06-10
和田	2 h 3 min	2 h 7 min	1 h 58 min	1 h 42 min	1 h 31 min	1 h	1 h 58 min	21 h 40 min	1964-04-25
于田	44 min	1 h 10 min	1 h 23 min	1 h 24 min	1 h 17 min	37 min	1 h 8 min	9 h 14 min	1984-04-19
民丰	2 h 36 min	3 h 5 min	3 h 2 min	3 h 23 min	2 h 43 min	2 h 2 min	2 h 55 min	28 h 18 min	1989-05-25
和田地区	1 h 41 min	1 h 55 min	1 h 56 min	1 h 50 min	1 h 39 min	1 h 1 min	1 h 49 min	18 h 43 min	-

地区年平均沙尘暴持续时间为1 h 49 min，在20世纪70—80年代最长，从90年代开始逐渐缩短，21世纪00年代开始缩短至多年平均以下。其中，民丰20世纪90年代最长，60年代最短；于田20世纪80—90年代最长，60年代最短；和田20世纪70年代最长，21世纪00年代最短；皮山20世纪60年代和80年代最长，90年代最短。2010—2018年，民丰在白天出现的沙尘暴持续时间平均为2 h 2 min，其余站普遍在1 h之内，皮山在白天出现的沙尘暴平均持续时间只有24 min。

4　沙尘暴变化原因分析

4.1　沙尘暴变化与大风日数

大风是指瞬时风速≥17.2 m·s^{-1}的天气现象，和田地区年平均大风日数2.7 d，其中皮山、和田、于田和民丰分别为1.8 d、4.3 d、1.4 d和3.3 d。和田地区在大风出现时沙尘暴出现频率达93.1%，皮山、和田、于田和民丰在大风出现时沙尘暴出现频率分别达92.5%、93.2%、96.3%、90.4%。全地区87.5%的沙尘暴发生时极大风速没有达到大风标准(17.2 m·s^{-1})。近58 a和田地区年大风日数以0.9 d·(10a)$^{-1}$的倾向率递减(图10)，皮山、和田、于田和民丰的变化倾向率分别为0.6 d·(10a)$^{-1}$、2.0 d·(10a)$^{-1}$、0.4 d·(10a)$^{-1}$和0.6 d·(10a)$^{-1}$。58 a来，和田地区年大风日数与沙尘暴日数

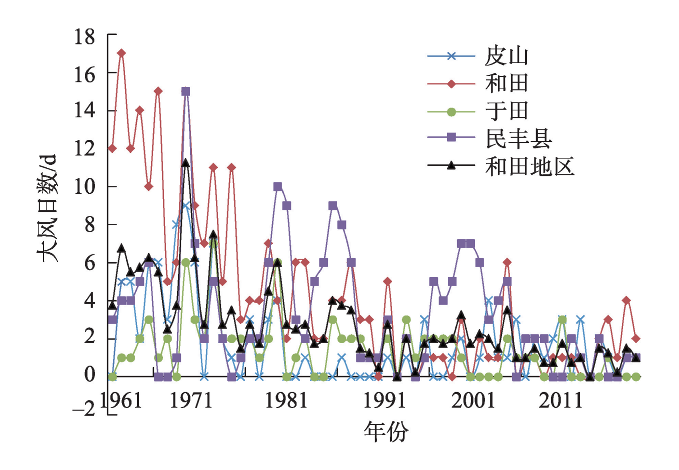


图10　和田地区大风日数年际变化

Fig. 10　Interannual variation of gale frequency in Hotan Prefecture

之间的相关系数达0.73，通过0.01信度检验，4站的相关系数均通过0.01信度检验。以上分析表明，虽然和田地区大风出现频率较少，但是大风与沙尘暴关系十分密切；引发和田地区沙尘暴的风速普遍在17.2 m·s^{-1}以下。

4.2　沙尘暴变化与最大风速

近48 a和田地区年最大风速以1.1 m·s^{-1}·(10a)$^{-1}$的倾向率递减，与沙尘暴之间的相关系数达0.72(通过0.01信度检验)，累积距平曲线在1988年从偏多期向偏少期转折(图11)，其信噪比R_{sn}=1.26，与和田地区沙尘暴气候突变为同一年。其中皮山、和田、

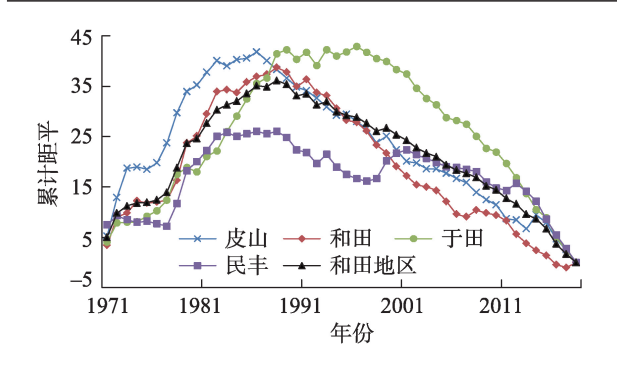


图11　和田地区最大风速累积距平

Fig. 11　The cumulative anomaly curves of maximum wind speed in Hotan Prefecture

于田和民丰的年最大风速同样呈现递减趋势，变化倾向率分别为1.2 $m\cdot s^{-1}\cdot(10a)^{-1}$、1.0 $m\cdot s^{-1}\cdot(10a)^{-1}$、1.3 $m\cdot s^{-1}\cdot(10a)^{-1}$和0.9 $m\cdot s^{-1}\cdot(10a)^{-1}$。和田地区各站的年最大风速与沙尘暴之间的相关系数显著，民丰通过0.05信度检验，皮山、和田和于田均通过0.01信度检验。皮山、和田、于田年最大风速发生了突变，突变年份与沙尘暴为同一年。和田地区最大风速减弱是沙尘暴频次减少的主要原因。

4.3　沙尘暴日数与其他基本气象要素

分析了近58 a和田地区及各站年沙尘暴日数变化与年平均气温、地表温度、气压、相对湿度以及年降水量、蒸发量、日照时数等气象要素的相关关系（表8），表明和田地区沙尘暴日数与气温、地表温度、降水量、蒸发量和日照时数等要素之间均呈显著负相关。从各站沙尘暴与气象要素相关性来看，沙尘暴除了与皮山和于田降水量、蒸发量、相对湿度，民丰气压、降水量、相对湿度、蒸发量、日照时数无显著相关外，其余气象要素均呈显著相关，尤其是与各站地表温度呈现出极显著相关。说明在和田地区，年平均气温和地表温度的上升，年降水量和蒸发量的增多、日照时数的延长对沙尘暴的减少有关。

4.4　沙尘暴日数与植被变化关系

利用EOS/MODIS卫星植被影像，计算出和田地区2002—2020年植被生长季4—10月最大植被覆盖面积。由图12可知，和田地区近19 a平均植被面积为30902.89 km^2，占总面积的12.4%，2002年是植被面积最小年份，植被面积为19072.36 km^2，覆盖率7.6%，年最大植被覆盖面积以6.342 $km^2\cdot(10a)^{-1}$的倾向率增多；从2010年以来普遍在平均值以上，尤其是2020年植被面积达36247.52 km^2，覆盖率为15.2%。

由表9可知，从20世纪80年代以来，和田地区林地面积增加明显，草地面积相对稳定，耕地面积也有所增加。近30 a来林地面积增加迅速，可能包括了农区发展特色林果生产，推广林果与粮食作物、经济作物套种技术带来的变化结果。整体上反映出和田地区植被覆盖面积在增加，下垫面植被覆盖状况好转也是当地沙尘暴减少的一个重要原因。

表8　和田地区年平均沙尘暴频次与气象因子的相关关系

Tab. 8　The correlation between annual mean sandstorm frequency and meteorological factors in Hotan Prefecture

站点	气温/℃	地表温度/℃	气压/hPa	降水量/mm	相对湿度/%	蒸发量/mm	日照时数/h
皮山	−0.54**	−0.62**	0.39**	−0.23	0.16	−0.25	−0.52**
和田	−0.66**	−0.68**	0.31*	−0.29*	0.35**	−0.32*	−0.33*
于田	−0.30*	−0.43**	−0.41**	−0.10	−0.25	−0.24	−0.28*
民丰	−0.28*	−0.37**	−0.04	−0.25	−0.13	−0.07	−0.21
和田地区	−0.63**	−0.66**	0.09	−0.27*	0.12	−0.40**	−0.54**

注:*表示在0.05水平上显著相关;**表示在0.01水平极显著相关。

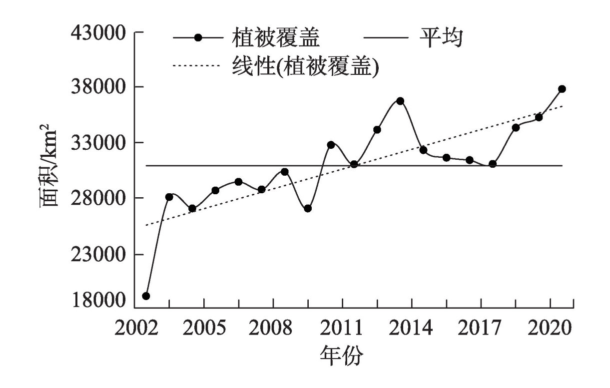


图12　和田地区植被覆盖面积变化

Fig. 12　The variation of vegetation coverage area in Hotan Prefecture

表9 和田地区森林、耕地、草地面积变化

Tab. 9 The variation of arable land, grassland and forest area in Hotan Prefecture /10^4 hm^2

年份	森林面积	耕地面积	草地面积
1985	4.67	15.97	262.72
1991	14.16	15.83	
1996	14.25	15.97	
2000	31.59	17.29	250.19
2006	53.55	16.8	253.9
2010	79.93	22.43	
2015	125.67		
2020	129.39	22.11	262.72

5 结 论

在全球气候变暖的大背景下，和田各地沙尘暴年际变化均呈递减趋势，但有明显的区域差异，本文进一步揭示了和田地区沙尘暴变化的精细化特征，及其长期变化的可能成因，具体结论如下：

（1）和田地区沙尘暴平均日数为20.4 d，民丰年平均沙尘暴达32.3 d，是我国沙尘暴发生频次最多的区域。和田地区沙尘暴日数存在明显的季节差异，春夏季占全年的90%。和田地区沙尘暴频次月分布呈“单峰型”，峰值在5月，占全年的23%，高发期在4—7月。和田地区24 h均有可能出现沙尘暴，日内频次分布呈“三峰型”，主峰出现在18:00—23:00，占总次数的38.0%，次峰和三峰分别出现在2:00和11:00，分别占总次数的5.1%和4.6%，在14:00沙尘暴出现频率全天最少。民丰沙尘暴频次主要出现在早晨和傍晚2个时段，其余3站主峰出现在傍晚。

（2）和田地区沙尘暴过程平均持续时间为1 h 49 min，持续时间在1~30 min的沙尘暴频率最高，达29%，随着持续时间增加，沙尘暴频率呈逐步递减。和田和民丰持续时间在120 min以上的沙尘暴频率最多，分别为35%和49%；于田和皮山持续时间在1~30 min的沙尘暴频率最多，分别为40%和38%。沙尘暴持续时间在冬季最长，春季其次，夏季最短，在12月和4月最长，持续时间平均分别为2 h 28 min和2 h 12 min，在6月最短，持续时间平均为1 h 35 min。在0:00—12:00开始的沙尘暴持续时间最长，平均时长达2 h 7 min。

（3）和田地区16个风向方位的风都会引发沙尘暴，偏西风时出现沙尘暴频率最高，频率从高到低为：W、WNW、WSW、NW、SW，上述5个风向情况下的沙尘暴频次占总次数的75.9%，其余风向出现沙尘暴频率较低，仅占0.3%~3.9%。民丰、皮山、和田和于田出现沙尘暴时的最多风向频率分别为WSW(44.9%)、NW(33.2%)、W(37.5%)和W(25.1%)，4站均是在SE风向时出现沙尘暴的频率最少，来自西方路径沙尘暴频率多于其余路径沙尘暴。

（4）近58 a和田地区的年沙尘暴频次以4.4 d·(10a)$^{-1}$倾向率递减，各季沙尘暴频次均呈现递减趋势，春夏季递减率分别达2.1 d·(10a)$^{-1}$和1.7 d·(10a)$^{-1}$；和田和皮山春夏季沙尘暴频数递减趋势极为显著。沙尘暴频次20世纪60年代最多，从90年代开始明显减少；沙尘暴过程持续时间20世纪70—80年代最长，从21世纪00年代开始明显缩短。1988年为和田地区年沙尘暴频次由多转少的突变年份。

（5）和田地区年平均大风日数2.7 d，87.5%的沙尘暴发生时极大风速普遍在17.2 m·s^{-1}以下。近58 a和田地区的年大风日数以0.9 d·(10a)$^{-1}$的倾向率递减，年最大风速以1.1 m·s^{-1}·(10a)$^{-1}$的倾向率递减。和田地区年大风日数与沙尘暴日数之间的相关系数达0.73，年最大风速与沙尘暴之间的相关系数0.72，均通过了0.01信度检验。皮山、和田、于田年最大风速发生了突变，突变年份与沙尘暴为同一年。和田地区最大风速减弱是沙尘暴频次减少的主要原因。和田地区下垫面植被状况好转，林地面积增加对沙尘暴日数减少也有一定作用。

参考文献(References)：

[1] 中央气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版杜, 1979: 21-27. [Central Meteorological Bureau. Specification for surface Meteorological Observation[M]. Beijing: Meteorological Publishing, 1979: 21-27.]

[2] 张强, 王胜. 论特强沙尘暴(黑风)的物理特征及其气候效应[J]. 中国沙漠, 2005, 25(5): 675-681. [Zhang Qiang, Wang Sheng. On physical characteristics of heavy dust storm and its climatic effect [J]. Journal of Desert Research, 2005, 25(5): 675-681.]

[3] 王静, 郭铌, 张强, 等. 沙尘暴影响综合评价指标体系及评估方法研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(5): 59-66. [Wang Jing, Guo Ni, Zhang Qiang, et al. Assessing indexes and method for sandstorm disaster effects[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(5): 59-66.]

[4] 王式功, 董光荣, 陈惠忠, 等. 沙尘暴研究的进展[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 349- 356. [Wang Shigong, Dong Guangrong, Chen Huizhong, et al. Advances in studying sand-dust storms of China [J]. Journal of Desert Research, 2000, 20(4): 349-356.]

[5] 徐国昌, 陈敏莲, 吴国雄, 等. 甘肃省“4.22”特大沙尘暴分析[J].

气象学报, 1979, 34(4): 26-35. [Xu Guochang, Chen Minlian, Wu Guoxiong, et al. Analysis of "4.22" sandstorm in Gansu Province [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1979, 34(4): 26-35.]

[6] 刘景涛, 杨耀芳, 李运锦, 等. 中国西北地区1993年5月5日黑风暴的机理探讨[J]. 应用气象学报, 1996, 7(3): 371-376. [Liu Jingtao, Yang Yaofang, Li Yunjin, et al. A study of the physical mechanism for a blak storm in northwest China[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1996, 7(3): 371-376.]

[7] 杨艳, 王杰, 田明中, 等. 中国沙尘暴分布规律及研究方法分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 465-472. [Yang Yan, Wang Jie, Tian Mingzhong, et al. Distribution characteristics and research method of sandstorms in China[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32 (2): 465-472.]

[8] 王存忠, 牛生杰, 王兰宁. 中国50 a来沙尘暴变化特征[J]. 中国沙漠, 2010, 30(4): 933- 939. [Wang Cunzhong, Niu Shengjie, Wang Lanning. Spatial and temporal pattern of sand-dust storms in China during 1958-2007[J]. Journal of Desert Research, 2010, 30(4): 933-939.]

[9] 张冲, 赵景波. 我国西北近50年春季沙尘暴活动的变化与气候因子相关性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(8): 129-132. [Zhang Chong, Zhao Jingbo. Relationships between the changes of sandstorm activities in spring and climatic factorsin the Northwest China in recent 50 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(8): 129-132.]

[10] 范一大, 史培军, 朱爱军, 等. 中国北方沙尘暴与气候因素关系分析[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(5): 12-18. [Fan Yida, Shi Peijun, Zhu Aijun, at al. Analysis of connection between dust storm and clmiate factors in northern China[J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(5): 12-18.]

[11] 岳平, 牛生杰, 张强, 等. 夏季强沙尘暴内部热力动力特征的个例研究[J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 509- 513. [Yue Ping, Niu Shengjie, Zhang Qiang, et al. Case study of dynamical and thermodynamical structure of serve dust-storm in summer[J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(3): 509-513.]

[12] 李娜, 闵月, 汤浩, 等. "4·23"南疆翻山型强沙尘暴动力结构特征分析[J]. 冰川冻土, 2017, 39(4): 792-800. [Li Na, Min Yue, Tang Hao, et al. Analyzing the dynamic structural characteristics of the severe sandstorm caused by cold air crossing mountains in Southern Xinjiang on April 23rd, 2014[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(4): 792-800.]

[13] 郑有飞, 刘贞, 刘建军, 等. 中国北部一次沙尘过程中沙尘气溶胶的时空分布及输送特性[J]. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1440-1452. [Zheng Youfei, Liu Zhen, Liu Jianjun, et al. The spatio-temporal distribution and transport behavior of a dust event in north China[J]. Journal of Desert Research, 2013, 33(5): 1440-1452.]

[14] 姜学恭, 李夏子, 王德军. 一次典型蒙古气旋沙尘暴的对流层顶演变及沙尘垂直输送特征[J]. 干旱气象, 2018, 36(1): 1-10. [Jiang Xuegong, Li Xiazi, Wang Dejun. Characteristics of tropopause evolution and dust vertical transportation during a Mongolia cyclone dust storm process[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36 (1): 1-10.]

[15] 孙辉, 晏利斌, 刘晓东. 中国北方一次强沙尘暴爆发的数值模拟研究[J]. 干旱区地理, 2012, 35(2): 200-208. [Sun Hui, Yan Libin, Liu Xiaodong. Numerical simulation of a severe dust-storm outbreak in northern China[J]. Arid Land Geography, 2012, 35(2): 200-208.]

[16] 赵建华, 李耀辉, 蒲朝霞, 等. GRAPES沙尘数值预报系统对一次沙尘暴沙尘浓度同化模拟试验分析[J]. 高原气象, 2012, 31 (3): 697-705. [Zhao Jianhua, Li Yaohui, Pu Zhaoxia, et al. Model-experimental analysis of variational assimilation of dust concentration with grapes sand-dust numerical forecasting system in a sand-dust storm[J]. Plateau Meteorology, 2012, 31(3): 697-705.]

[17] 赵光平, 杨有林, 陈楠.宁夏区域性强沙尘暴卫星遥感检测系统[J]. 中国沙漠, 2004, 24(6): 711- 714. [Zhao Guangping, Yang Youlin, Chen Nan. A satellite remote-sensing monitoring system to heavy sandstorm in Ningxia[J]. Journal of Desert Research, 2004, 24(6): 711-714.]

[18] 范一大, 史培军, 罗敬宁. 沙尘暴卫星遥感研究进展[J]. 地球科学进展, 2003, 18(3): 367-373. [Fan Yida, Shi Peijun, Luo Jingning. Advances in studying dust storm using remote sensing[J]. Advance in Earth Sciences, 2003, 18(3): 367-373.]

[19] 霍文, 杨青, 何清, 等. 新疆大风区沙尘暴气候特征分析[J]. 干旱区地理, 2011, 34(5): 53-761. [Huo Wen, Yang Qing, He Qing, et al. Climate characteristics of sandstorm of strong wind area in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2011, 34(5): 753-761.]

[20] 王旭, 马禹, 陈洪武.新疆沙尘暴天气的气候特征. 中国沙漠[J], 2003, 23(5): 539-544. [Wang Xu, Ma Yu, Chen Hongwu. Climatic characteristics of sandstorm in Xinjiang[J]. Journal of Desert Research, 2003, 23(5): 539-544.]

[21] 李红军, 李军, 何清. 新疆沙尘暴的趋势和突变研究[J]. 中国沙漠, 2008, 28(5): 915-919. [Li Hongjun, Li Jun, He Qing. Study on sandstorm trend and abrupt change in Xinjiang[J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(5): 915-919.]

[22] 买买提阿布都拉·依米尔, 布帕提曼·艾拜都拉, 陈天宇. 新疆和田绿洲空气质量状况与气象条件的关系[J]. 干旱区研究, 2020, 37(1): 46-57. [Maimaitiabudoula Yimier, Bupatiman Aibaidoula, Chen Tianyu, et al. Relationship between air quality status and meterological conditions in Hotan Oasis, Xinjiang, china[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(1): 46-57.]

[23] 刘海涛, 张向军, 李盈奎, 等. 和田地区沙尘暴天气的时空分布特征[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(5): 85- 89. [Liu Haitao, Zhang Xiangjun, Li Yingkui, et al. The time-space distribution characteristics of sandstorm weather in Hotan region[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(5): 85-89.]

[24] 李玲萍, 李岩瑛, 孙占峰, 等. 河西走廊东部沙尘暴特征及地面气象因素影响机制[J].干旱区研究, 2019, 36(6): 1457-1465. [Li Lingping, Li Yanying, Sun Zhanfeng, et al. Sandstorm and its affecting meteorological factors in east Hexi Corridor[J]. Arid Zone

Research, 2019, 36(6): 1457-1465.]

[25] 布帕提曼·艾拜都拉, 买买提阿布都拉·依米尔, 阿依夏木古丽·买买提, 等. 1961—2015年新疆和田地区不同级别降水事件变化特征[J]. 冰川冻土, 2017, 39(6): 1326-919. [Bupatiman Aibaidoula, Maimaitiabudoula Yimier, Ayixiamuguli Maimaiti, et al. Variation characteristics of precipitation events of different levels in Hotan Prefecture of Xinjiang during 1961-2015[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(6): 1326-1335.]

[26] 满苏尔·沙比提. 南疆近60 a来冰雹灾害时空变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2012, 34(4): 795-801. [Mansur Sabit. Analyzing the spatio-temporal variations of hail disasters in southern Xinjiang region during recent 60 years[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(4): 795-801.]

[27] 韩永翔, 方小敏, 宋连春, 等. 塔里木盆地中的大气环流及沙尘暴成因探讨——根据沙漠风积地貌和气象观测重建的风场[J]. 大气科学, 2005, 29(4): 627-635. [Han Yongxiang, Fang Xiaomin, Song Lianchun, et, al. A study of atmospheric circulation and dust storm causes of formation in the tarim basin: The restructured wind field by shapes of dune and observed prevailing wind[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2005, 29(4): 627-635.]

[28] 杨霞, 周鸿奎, 赵克明, 等. 1991—2018年新疆夏季小时极端强降水特征[J]. 高原气象, 2020, 39(4): 762-773. [Yang Xia, Zhou Hongkui, Zhao Keming, et al. Variation features of hourly precipitation in Xinjiang province during 1991-2018[J]. Plateau Meteorology, 2020, 39(4): 762-773.]

[29] 吴秀兰, 张太西, 王慧, 等. 1961—2017年新疆区域气候变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(4): 27-34. [Wu Xiulan, Zhang Taixi, Wang Hui, et al. Characteristics of temperature and precipitation change in Xinjiang during 1961-2017[J]. Desert and Oasis Meteorology , 2020, 14(4): 27-34.]

[30] 刘海涛, 李绣东, 买买提, 等. 南疆和田地区气候变化特征分析——以北部绿洲区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 6(6): 63-71. [Liu Haitao, Li Xiudong, Memeti, et al. Climate change analysis in Hotan region of southern Xinjiang: A case of northern oasis region[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 6(6): 63-71.]

[31] 王万里, 王祖武, 王学雷, 等. 地气系统角动量守恒对副热带高压南北位移的可能影响——近50年北半球500 hPa高度场年代际变化及机制[C]//中国环境科学学会2009年学术年会论文集(第一卷). 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009: 249-255. [Wang Wanli, Wang Zuwu, Wang Xuelei, et al. Possible impact of angular momentum balance in Earth-atmosphere system on subtropical high South-North shift-50 year's decade changes and mechanism of 500 hPa field in North hemisphere[C]//Papers of 2009 Environmental Annul Conference. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2009: 249-255.]

[32] 陈辉, 施能, 王永波. 北半球500 hPa高度场趋势变化与突变[J]. 热带气象学报, 2000, 16(3): 272-281. [Chen Hui, Shi Neng, Wang Yongbo. The secular trend variations and abrupt change of northern 500 hPa geopotential height[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2000, 16(3): 272-281.]

[33] 黄嘉佑. 气候状态变化趋势与突变分析[J]. 气象, 1996, 21(5): 56-57. [Huang Jiayou. Analysis of trending and mutation about climate change[J]. Meteorological Monthly, 1996, 21(5): 56-57.]

Temporal distribution and variation characteristics of sandstorms in Hotan Prefecture

Mamatabdulla Emer[1], Ayxamgul Mamat[1], Sayran Wayli[2], CHEN Tianyu[1], Bupatima Aibaidulla[1], Ayxam Mamattuhti[1], MAO Weiyi[3]

(1. Hotan Meteorological Bureau, Hotan 848000, Xinjiang, China; 2. Remote Sensing Center of Xinjiang Meteorological Bureau, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 3. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, Xinjiang, China)

Abstract: Using the sandstorm monitoring data of four weather stations from 1961 to 2018, we have analyzed the temporal distribution characteristics and variation trend of sandstorm frequency and duration in Hotan. We also discuss the causes of long-term variation in sandstorms. Our chief findings reveal that Hotan has one of the highest occurrences of sandstorms in China, at 20.4 days per year. The frequency is highest in spring and summer, and the peak is in May. The sandstorms in December are the longest in duration, and those in June are the shortest. The sandstorms that occur most often are those lasting for 1−30 min. Although sandstorms in Hotan might occur at any time of the day, we found that most appeared between 18:00 and 23:00, and those that occurred in the middle of the midnight to morning lasted the longest. In the Hotan region, sandstorms can appear from 16 different wind directions; the wind speed and frequency of sandstorms coming from the western path are higher than are those from the other paths. And those sandstorms in the study region can be caused by the wind which was at the maximum average speed of 3.0 $m \cdot s^{-1}$, and 87.5% of the storms occurred while the wind has not reach the standard. Over the last 58 years, the number of annual sandstorm days, the number of annual gale days, and the annual average maximum wind speed in Hotan have decreased significantly. Sandstorm frequency peaked in the 1960s and has decreased sharply since the 1990s. The durations of the sandstorms in the 1970s−1980s were the longest during the past century; the durations have shortened significantly since the 2000s. The decline in the frequency of sandstorms in Hotan Prefecture is related to the decreasing local gale frequency, the weakening of the daily maximum wind speed, and the improvement of the vegetation cover.

Keywords: the frequency of sandstorm; duration; variation characteristics; Hotan Prefecture